
論文

反射スペクトル特性による森林衰弱の評価

森 脇 康 文*

古 川 郁 夫**

Forest Weakness Assessment by Spectral Reflectance

Yasufumi MORIWAKI*

Ikuo FURUKAWA**

Summary

It is well known that the spectral reflectance characteristic of trees changes when trees weaken. If the relationship between tree vitality and spectral reflectance can be determined, the vitality of wide forest areas can be evaluated using satellite images.

In this study, the spectral reflectance of leaves, trees and forests with moisture loss were measured and the Vegetation Indices calculated. As a result, it seems possible to assess the vitality of trees using these indices. Noticeable forest weakness was seen in areas with poor soil and water conditions during the abnormal drought summer of 1994. This weakness appeared on the indices as well.

I 緒 言

森林は、気象的要因や生物害、大気汚染に起因する酸性雨などにより絶えず変化している。森林を管理する上で、その変化していく森林の衰弱域の面的な広がりを明らかにすることは、予防対策を立てる際に重要である。しかし森林は一般的に広域に広がっており、目視的調査は困難である。ところが近年人工衛星から送られてくる画像データの入手が容易になり、衛星画像利用の有効性が指摘されるようになってきた。

国内では、マツ林の被害が多く見られる。東は、2 時期のランドサット TM データを用いてマ

* 鳥取大学大学院 農学研究科 農林環境科学専攻

** 鳥取大学農学部 農林総合科学科 生存環境科学講座

Department of Environmental Science, Faculty of Agriculture, Tottori University

ツくい虫被害林の抽出の可能性を明らかにした²⁾。塩坂らは、ランドサットTMデータからマツ林の衰弱域の抽出を行い、現地調査によりその有効性を確認している³⁾。Albertらは、NOAA AVHRRデータを用いて、ニューメキシコ州東南部の天然植生群落に対する干ばつの影響の評価を行った¹⁾。そこで本研究では、衰弱過程にある樹葉や樹木の可視から赤外域での反射スペクトル特性（以後反射特性とする）を調べることにより、樹木や森林の活力度の評価を試みた。

II 実験方法

1. 測定装置と分光反射率

本実験では、阿部設計製2703型ポータブルフォトメータ（以後分光放射計と記す）を使用して、分光反射エネルギーの測定を行った。この分光放射計は、波長400nm～1050nmの範囲で25nmまたは100nm毎に合計17波長について測定ができる。測定値はログ等間隔式でアナログで表示される。また、測定視野角は、10°と2°が選択できる。同じ光条件で計測した対象物及び標準白色板の分光反射エネルギーをそれぞれ V_λ 、 $V_{0\lambda}$ とすると分光反射率 R_λ は、式1により導くことができる。

$$R_\lambda = 10 \frac{(V_\lambda - V_{0\lambda})}{V_{0\lambda}} \times 100 (\%) \quad (1)$$

標準白色板としては、一般的には硫酸バリウムを塗布したガラス板が用いられる。しかし、標準白色板に硫酸バリウムプレートを用いた場合と、白色ケント紙を用いた場合を比較すると測定波長域では両者に差が認められなかったため（図1）、本実験では白色ケント紙を標準白色板の代わりとして用いた。また光源についても、モデル実験ではカラー用コピーランプ（250W、4灯）を、現地調査では太陽光を用いたが、これら2種の光源のどちらにおいても、反射率は、測定波長域ではほぼ等しい値を示した（図2）。なお、本験においては、Landsat MSSデータの各バンドとの対応を考慮して、測定可能な17波長の内、450nm、550nm、650nm、750nm、850nm、950nm、1050nmの7波長の反射率の測定を行った。

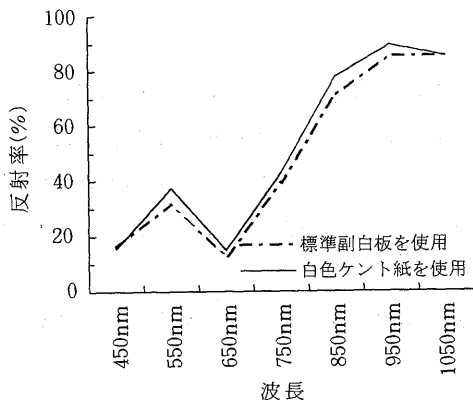


図1 標準副白板と白色ケント紙の関係

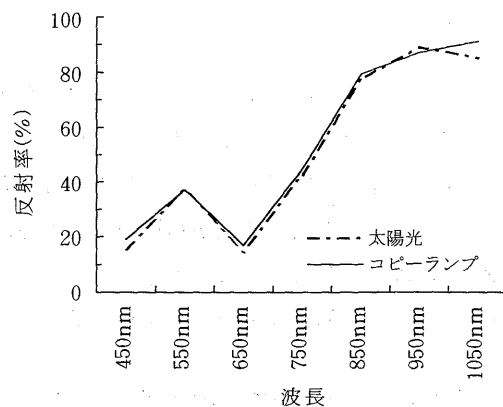


図2 太陽光とコピーランプの関係

2. 樹葉の反射率測定

モデル実験として樹葉を採取し、黒色画用紙でつくった皿（13cm×18cm）の上に、皿の底が見えなくなり、さらに皿による反射の影響をなくすため、樹葉を3～4層以上重なるように並べてサンプルを作った⁴⁾。これを室内に放置し、分光反射率を1～3日に1回、高さ30cmの所から鉛直下向きに視野角10°で測定した。

1樹種につき5個のサンプルを作製し、1回の測定につき各サンプル1回ずつ分光反射率の測定を行った。それら5つの値の平均を測定値とした。また、同時にサンプルの重量も計測し、重量の変化が無くなるまで分光反射率の測定を繰り返した。絶乾重量から樹葉の含水率を算出した。

実験には、鳥取大学正門前に街路樹として植栽されたイチョウ (*Ginkgo biloba*)、鳥取大学乾燥地研究センター内に生育するクロマツ (*Pinus thunbergii*)、ハリエンジュ (*Robinia pseudoacacia*)、鳥取大学構内に生育するケヤキ (*Zelkova serrata*)、ユリノキ (*Liriodendron tulipifera*) の合計5樹種を用いた。またこれらのサンプルは順に1994年5月8日、6月16日、5月16日、5月25日、6月16日に採取した。

3. 樹木及び森林の反射率測定

現地での観測は、樹木および森林について行った。太陽との位置関係から、樹木では測定木を南側から、また森林では南向きの斜面を計測した。測定方向は、対象物については仰角-10°～30°の範囲で、標準白色板の反射率も対象物と同じ方角、仰角-15°で測定した。測定は、晴れた日の10～14時の間に視野角2°で行った。また測定は5回反復して行いそれらの平均値を測定値とした。

樹木の観測では、鳥取大学乾燥地研究センター内及び、柳茶屋キャンプ場近くの砂丘地に生育するクロマツについて、同一時期に、活力が異なるとされるもの8個体を設定し、砂丘クロマツの観測地点とした。観測は1994年10月に、各観測地点につき1～2回ずつ合計14回、分光反射率の測定を行った。また、鳥取市内布勢運動公園前県道21号線の中央分離帯に植栽されたセンジュ (*Biota orientalis* cv. *Compacta*, コノテガシワの園芸種) 5個体を設定し、布勢センジュの観測地点とし、1994年8月12日と9月8日の2日間に合計10回、分光反射率を測定した。

森林の観測では、鳥取県内において針葉樹林3か所、広葉樹林5か所の合計8か所の調査地域を決め、それぞれの地域につき各5地点を設定した。各地点について1994年8月から11月に、2～4回ずつ分光反射率の測定を行った。また、1994年9月に厳しい衰弱のみられた久松山南面については1995年も継続して観測を行った。それぞれの調査地点の名前、測定日、延べ測定回数、特徴を表1に示す。

表1 森林の測定プロット

調査地域名	測定日	延べ測定回数	特徴
智頭	1994/8/7,9/9,10/19	15	スギ造林地
芦津	1994/8/7,9/9,10/19	15	スギ造林地
打吹山南面N林	1994/8/10,10/16	10	ヒノキ造林地
久松山南面	1994/8/4,9/4,10/7,11/11 1995/5/2,5/19,6/24,7/26,9/9,10/3	47	広葉樹林
久松山南西面	1994/8/6,9/4,10/7,11/11	20	広葉樹林
三津	1994/8/6,9/5,10/14	15	広葉樹林
打吹山南面L林	1994/8/10,10/6	10	スダジイを中心とした照葉樹林
霊石山南斜面	1994/8/5,9/18,9/25	11	広葉樹林
合計		143	

4. 活力度の評価

活力度の異なるクロマツの反射特性を図3に示した。測定した7波長の反射率のうち、樹葉、樹木、森林の活力度の変化にともなって反射率が大きく変化した赤色域(650nm)と近赤外域(850nm)および、わずかな変化しかみられなかった緑色域(550nm)の反射率から2種類の指標値、すなわち活力度の指標、目で見た色の指標を算出した。

活力度の指標は赤色域と近赤外域の反射率の比として表される(式2)。これは、一般にRVI(Ratable Vegetation Index)と呼ばれる指標で、活力度を判断するときによく用いられる。RVIは、健全な樹葉ほど値が増加し、衰弱するにつれその値は減少することが知られている³⁾。

$$RVI = R_{850} / R_{650} \quad (2)$$

ただし、 R_{850} : 近赤外域(850nm)の反射率(%)

R_{650} : 赤色域(650nm)の反射率(%)

目で見た色の指標として、本実験では、緑色域(550nm)と赤色域(650nm)の反射率の比を用いた(式3)。この色の指標値は、健全な緑葉のものほど値は増加し、衰弱して茶色っぽくなるにつれ値は減少する。以下この指標をCI(Color Index)と呼ぶ。

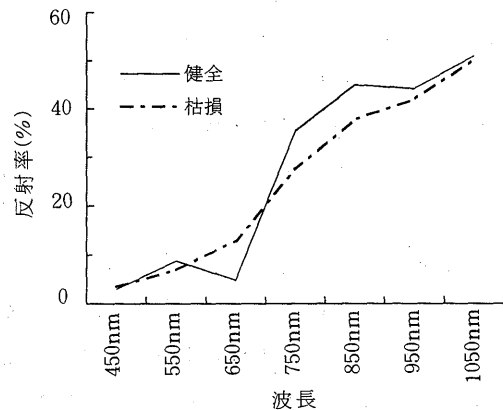


図3 活力度の異なるクロマツの反射特性

$$C I = R_{550} / R_{650} \quad (3)$$

ただし、 R_{550} ：緑色域 (550nm) の反射率 (%)

R_{650} ：赤色域 (650nm) の反射率 (%)

また、ここで指標として反射率の比を用いることで、測定方角、仰角、時刻、大気の状態などによる分光反射率の絶対値の差を指標値上に表れにくくしている。

III 結果及び考察

1. 樹葉の活力度変化

新鮮樹葉の R V I 並びに C I の経時変化を図 4 に示した。すべての樹種において、新鮮葉では R V I、C I とともに最も大きく、時間が経つにつれともに減少した。また樹種により新鮮葉でも R V I 値、C I 値は異なっており、樹種による固有の差であると考えられる⁴⁾。クロマツ葉は時間が経つにつれて黄変したのに対し、他の樹種では緑色を残したまま水分だけが減少し、しおれたという感じであった。

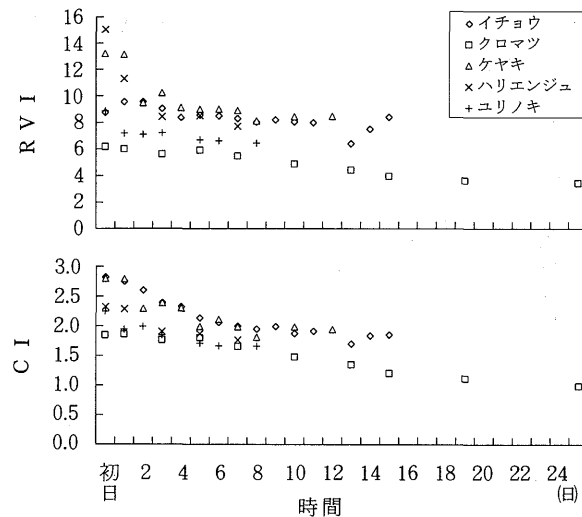


図 4 R V I と C I の経時変化

新鮮葉からの経時の変化は C I を横軸に、R V I を縦軸としてプロット (C I - R V I プロット) するとほぼ直線的な変化として表すことができた (図 5)。樹葉がしおれる過程はこの直線上を右上から左下に移動することから、この直線 (曲線) を水分損失による衰弱曲線と見なすことができるであろう。図 5 の場合衰弱曲線の回帰式は、 $y = 4.75x - 1.40$ となり $r = 0.840^{***}$ (***: 有意水準 0.1%) であった。この衰弱曲線を用いて、樹葉をはじめ、樹木の活力度をある程度評価することができる。

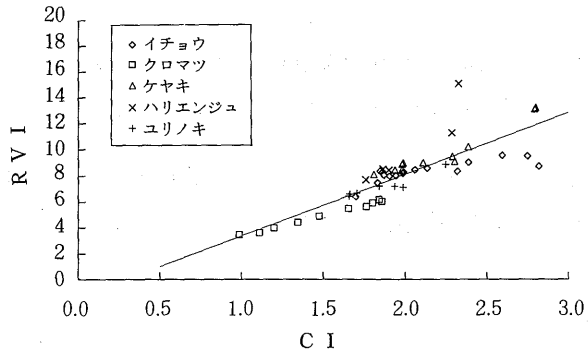


図5 モデル実験の結果

2. 樹木の活力度評価

クロマツのC I-R V Iプロットの結果を図6に示した。クロマツについては目視により健全と思われるもの、衰弱していると思われるもの、完全に枯死したと思われるものの3種類示した。また、センジュについてはすべて健全木を示した。図中の直線は図5で求めた樹葉の衰弱曲線を示している。樹木の場合も、樹葉の活力低下にともなって測定点は右上から左下へ移動し、樹葉の衰弱とはほぼ同様のパターンを示した。

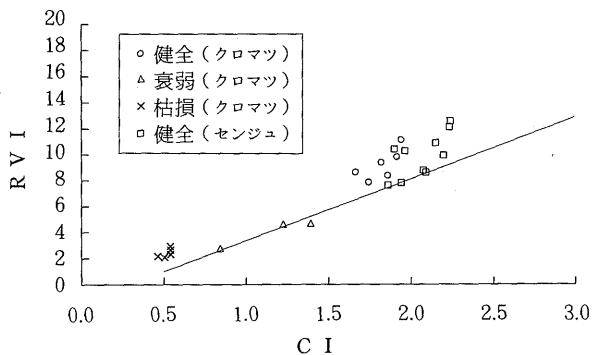


図6 樹木について測定した結果

とくに、クロマツの場合C I値1.4以上では目視上は緑色（健全色）を、それより小さくなると少しずつ黄色っぽくなり、約0.7以下では茶色（枯死した色）に見える（写真1）。このことから、健全木と、衰弱木葉との閾値はC I約1.4、R V Iでは約5であることが推測できる。

3. 森林の活力度評価

1994年8月から翌年10月の間、全測定地点における測定結果をC I-R V Iプロットしたもの

が図7である。図中の直線は樹葉の衰弱曲線（図5）である。点は針葉樹林と広葉樹林に分けて示した。針葉樹林の地点は、すべて健全な範囲（ $CI > 1.4$, $RVI > 5$ ）に分布し、1994年夏の異常渇水期においても衰弱していなかったと判断できる。しかし、広葉樹林の中には衰弱している地点が存在した。とくに可視からも大きな変化の見られた鳥取市内久松山南面のD地点（写真2）について月別の変化を図8に示す。

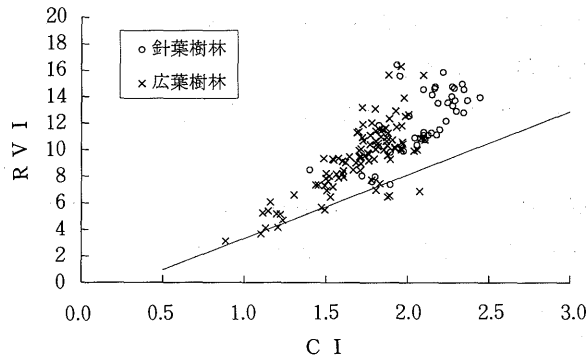


図7 森林について測定した結果

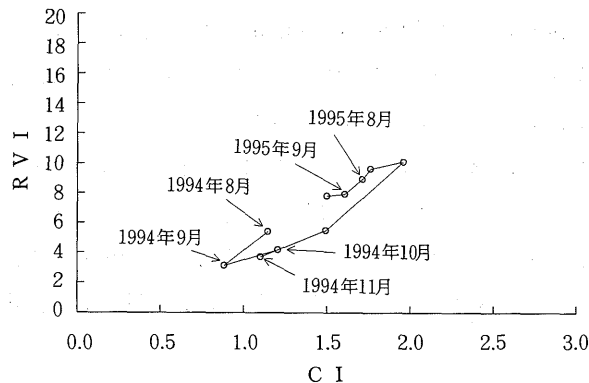


図8 久松山南面D地点

図8は久松山南面D地点について、1994年8月から翌年10月に測定した結果を示したものである。この地点では、8月の時点ですでに点は“衰弱”の範囲にあり、9月には点はさらに左下へと移動した。そして10月にはまた右上に移動した。このことから、測定を開始した8月ではすでに森林はかなり衰弱していたが、9月にはさらに衰弱し、10月には少し回復していたことが分かる。1995年にはほとんどの樹木が回復していた。また目視観測からもそのことが確認できた（写真2）。久松山山頂付近（A地点）でも同様の現象が認められた。

この地点は、今回測定した森林の中で最も衰弱が激しかった。この地点は、鳥取城跡天球丸後背の岩盤が大きく露出した部分のすぐ上にあたる。そのため森林土壌が薄く、土壌の保水能力が

低く、水分環境条件が厳しい場所であるためと考えられる。

IV 結 論

水分損失過程にある樹葉、樹木（とくにクロマツ）、森林（1994年夏期の異常渇水期の森林）の反射特性の測定から、これらの活力度の評価を試みた結果、以下のことが明らかとなった。

1. R V I 値及び C I 値を用いることで、樹木の活力度をある程度評価できる。すなわち C I - R V I プロット図において樹木の活力度はほぼ正比例的に変化し、 $R V I \leq 5$ 、 $C I \leq 1.4$ では樹木は枯死寸前まで衰弱していた。
2. 針葉樹林（スギ人工林）では、活力の低下した森林はほとんどなく、これらの森林の保水能力はかなり高い。
3. 広葉樹林（針葉林混交林も含む）では、調査地点によって衰弱状況に大きな違いがみられ、土壌や水分の環境条件の悪いところ（久松山南面 D、A 地点）では、夏期の渇水期に森林の衰弱が顕著であった。

文 献

- 1) Albert J. Peters・Bradley C. Reed・Marlen D. Eve・Kris M. Havstad : Satellite assessment of drought impact on native plant communities of southeastern New Mexico, U.S.A., *Journal of Arid Environments*, **24**, pp.305~319 (1993)
- 2) 東敏夫：二時期のランドサット TM データを用いたマツ枯れ被害拡大地域の抽出, 日本リモートセンシング学会誌, **10** (3), pp.77~83 (1990)
- 3) 塩坂邦雄・近田文弘・西川肇：ランドサット TM データによる富士山南麓のクロマツ林の環境評価, 日本リモートセンシング学会誌, **14** (1), pp.25~39 (1994)
- 4) 吉村晴佳・小橋澄治・大手桂二・妹尾俊夫：樹葉の分光反射特性変化およびその色彩の数値的解析についての研究, 日本リモートセンシング学会誌, **11** (2), pp.5~17 (1991)

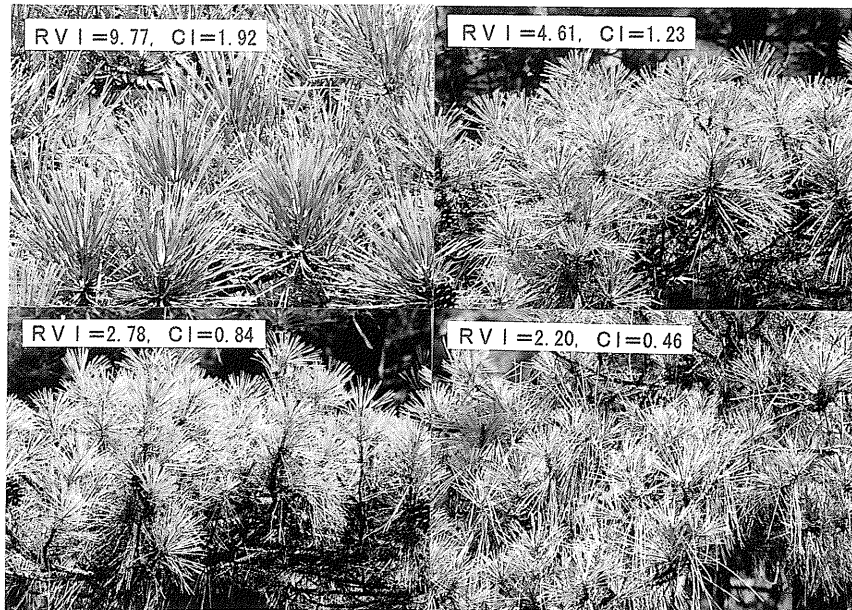


写真1 活力度の異なる砂丘クロマツ

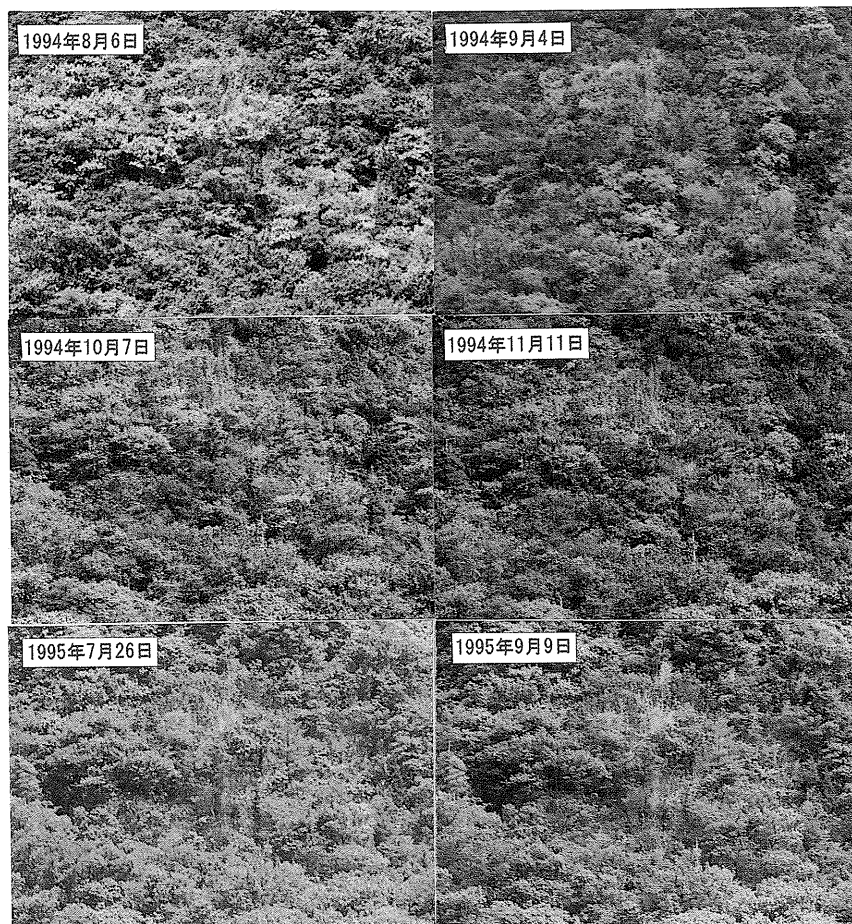


写真2 久松山南面D地点